

# **《物理学》思考题与工程 (科学) 问题解答**

成都信息工程大学

二〇二〇年八月



---

# 第一章 质点运动

**思考题 1-1:** 在棒球运动中，球具有怎样的运动轨迹和规律？棒球手一般通过什么方式来判断和控制球的运动与落点？

**参考答案:** (1) 球的运动轨迹一般为抛物线，运动轨迹取决于抛物线的高度和水平运动距离，在相同的初速度情况下，竖直分运动的高度越高，其水平运动的距离越短。(2) 棒球手往往可以通过击球瞬间给球施加力的大小和方向，来控制球抛物线运动的轨迹，从而控制球的落点。棒球高手的优势在于能够很好地判断球的运动情况，决定击球的力度和方位。

**思考题 1-2:** 请设想一个可能产生超重的情景，并分析超重的产生原因。

**参考答案:** 发射航天器存在这严重的超重现象，因为航天器在开始加速上升阶段的加速度可以高达  $8g$ ，远远大于重力加速度，其中的宇航员处于了超重状态。失重产生的原因是物体具有了向上运动的加速度，加速度越大，超重越厉害，物体需要承受的压力也越大。设加速度为  $a$ ，则宇航员的示重为

$$G' = m(g + a) > G = mg$$

所以飞船加速时，宇航员处于超重状态。超重对航天员都很大的生理影响，航天员最大的压力是承受加速度，“超重耐力”训练要求航天员在承受 8 倍于自身体重的重力条件下，保持正常的呼吸和思维能力，而玩过山车时经历的刺激最多是 2 倍多一点的重力加速度。

**思考题 1-3:** 坐翻滚列车或玩激流勇进时，车身从最高点冲下去时，人瞬间获得了加速度，打破了人的正常受力状态，因此人突然感觉异常，这种异常的感觉让有些人感到刺激，同时又让有些人感到惊恐。那么，为什么坐后面反而会让人感到更恐惧呢？提示如下：计算坐在翻滚列车前排和最后一排的人从最高点冲下去时的加速度，由此来判断胆大与胆小的人应该如何反而应该如何选择座位。

**参考答案:** 由于我们习惯受到重力的作用，而且在竖直方向的加速度为零，但玩翻滚列车或玩激流勇，车身从最高点冲下去时，人瞬间获得了向下加速度，这就打破了人的正常受力状态，使人突然感觉异常，这种异常的感觉让有些人感到刺激，同时又让有些人感到惊恐，这就是人处于失重状态的感觉，向下的加速度越

大，这种感觉越明显。

让我们比较一下坐在过山车最前排和最末排的人在冲下去的瞬间的加速度：

设翻滚列车有 10 节车厢，每节车厢的总质量为  $m$ 。当第一节列车从轨道最高处冲下去时，忽略列车与轨道之间的摩擦力，第一节车厢的受力情况如图所示。设列车此时的加速度为  $a$ ，由牛顿第二定律可得：

$$T' = 9ma$$

$$mg \sin \theta - T = ma$$

而  $T' = T$ ，则

$$a = \frac{1}{10} g \sin \theta$$

这是第一节车厢向下俯冲时的加速度。

同理，当第十节车厢位于轨道最高处时，第九节车厢的受力情况如图所示，有

$$T' = ma'$$

$$9mg \sin \theta - T = 9ma'$$

则

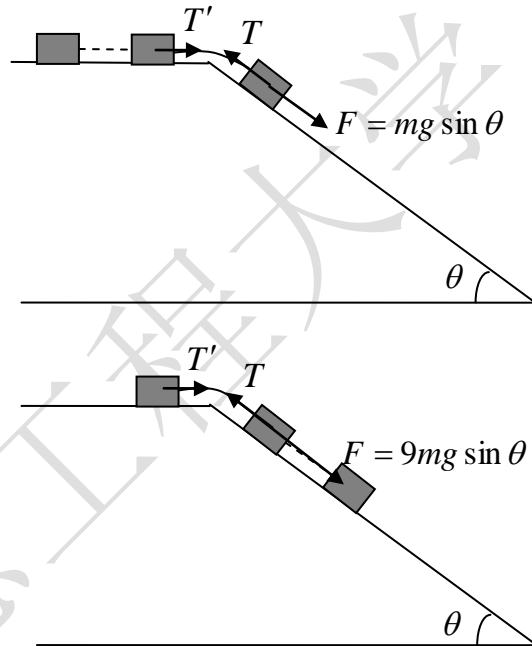
$$a' = \frac{9}{10} g \sin \theta$$

这是第十节车厢向下俯冲时的加速度。

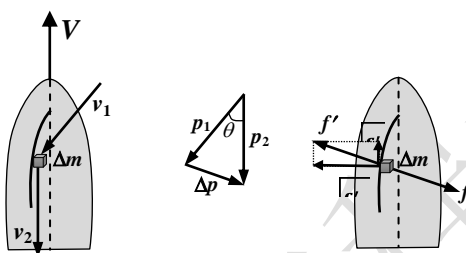
比较最前排和最末排的人在冲下去的瞬间的加速度可知，坐在最前面的人的加速度最小，最后排的加速度最大，后排的失重感应该比前排强烈。因此，胆大的人应该选择最后一排，而胆小的人反而应该坐最前排。因此几乎所有的人都做了错误的选择。

**思考题 1-4：**帆船比赛中海面的风力、风向复杂多变，一名优秀的选手懂得“见风使舵”，他们会利用风力逆风前进。试利用动量定理解释“逆风行舟”现象。

**参考答案：**如图所示，以  $\mathbf{v}$  表示船的航行方向，沿船中心线方向。设风从左前



方吹来，与中心线的夹角为 $\theta$ 。质量为 $\Delta m$ 的一小块风，以速度 $v_1$ 吹向帆面，离开时速度为 $v_2$ 。因为帆面比较光滑，风沿帆面略过，速度大小近似不变， $v_1 = v_2$ 。但是 $\Delta m$ 的速度方向即动量发生改变，所以风受到了帆的作用力。根据动量定理， $\Delta m$ 动量的增量 $\Delta p$ 与帆对 $\Delta m$ 作用力 $f$ 的关系： $I = f\Delta t = \Delta p$ ；因为动量大小前后不变， $p_1 = p_2$ ，所以 $\Delta p$ 的方向偏向船的后方，即帆对 $\Delta m$ 作用力 $f$ 的方向。根据牛顿第三定律， $\Delta m$ 必然同时对帆有一个作用力 $f'$ ，该力的方向偏向船前进的方向。将 $f'$ 分解为两个分量，其垂直于船体的分量与水对船龙骨的阻力相平衡，而与船的航向方向平行的分量就是推动帆及整个船体前进的作用力。



**思考题 1-5：** 为了提高火箭发射效率，火箭设计师应该采取什么措施？为什么？

**参考答案：** (1) 如果火箭设计师要提高火箭发射效率，就应该提高火箭上升的加速度，使火箭在上升单位高度后获得更大的速度；同时工程师也应该考虑火箭发射的燃料耗散率，即完成一次火箭发射用尽量少的燃料，这样也可以减轻火箭的重量，有利于提高发射效率。(2) 一方面，根据 1-51 式可知，火箭的推动力与燃料的喷射速度和火箭质量的变化率成正比，即  $F = -v_e \frac{dM}{dt}$ ，可见火箭质量的减少得越快，火箭的加速度越大，则需要单位时间内喷出的燃料越多，所以工程师应该尽量提高火箭燃料的喷射率。

另一方面，根据 1-50 式可知，即  $v - v_0 = v_e \ln \frac{M_0}{M}$ ，火箭燃料的喷射率提高

后， $\frac{M_0}{M}$  的瞬时值大，火箭的瞬时速度 $v$ 增加。此外， $v$ 也与燃料的喷射速率成正比，所以工程师也可以通过提高燃料的喷射速率来提高发射效率。

**思考题 1-6：** 人造地球卫星的可能性早在十七世纪就有牛顿在《自然哲学的数学原理》一书中提出来了，其核心思想是让物体做抛体运动，当初速度足够大时抛

出的物体就能绕地球做圆周运动，关键的物理问题是地球与物体系统的机械能守恒。请分析人造地球卫星在发射与运行过程中的能量与能量转换关系，并求出人造地球绕地球飞行的条件（即求第一宇宙速度）。

**参考答案：**（1）在人造地球卫星在发射过程中，它做加速运动，其势能和动能都不断增加，需要的能量来源于燃料燃烧获得的能量，因此是燃料的能量不断转换成火箭和卫星的机械能。在人造地球卫星进入预定轨道后，它绕地球做匀速圆周运动，其机械能守恒，势能和动能都保持不变。（2）人造地球绕地球飞行的条件：如果人造地球绕地球飞行，圆周运动的向心力就等于地球对它的引力，即

$$mg = m \frac{v^2}{R^2}$$

则

$$v = R\sqrt{g}$$

所有卫星都应该在大气层以外飞行，离地的高度至少为  $R = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$ ，则人造地球绕地球飞行的最小速度为

$$v_0 = 7.9 \text{ km/s}$$

称为第一宇宙速度，即卫星刚好能绕地球飞行的速度。

## 科学问题的解析

### 万有引力定律及其应用

万有引力定律在天文学上的应用，有极为重要的意义，海王星就是根据万有引力定律被发现的。在 18 世纪，人们发现太阳系的第七个行星（天王星）的运动轨道，总是与应用万有引力定律计算出来的轨道有一定偏离，于是有人预测，在其轨道外肯定还有一颗未被发现的新星，后来亚当斯和勒维列在预言位置的附近找到了这颗新星——海王星，如图片 1-14 所示。

**请分析：**

1、如何根据开普勒定律和牛顿运动定律推导出万有引力定律的数学形式？科学家如何根据此数学形式推知存在“万有引力定律”的？

**参考答案：**

(1) 对任意一个确定的行星，由 Kepler 第一定律，以太阳（即椭圆的一个焦点）为极点，椭圆的长轴为坐标轴建立极坐标，则行星的轨道方程为

$$r = \frac{p}{1 - e \cos \theta}$$

其中  $p = \frac{b^2}{a}$  为焦参数， $e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$  是离心率， $a$  和  $b$  分别是椭圆的半长轴与半短轴。

设在时刻  $t$  行星与太阳的距离为  $r = r(t)$ ，它们的连线与坐标轴的夹角为  $\theta = \theta(t)$ ，则行星的坐标可表示为  $(r \cos \theta, r \sin \theta)$ 。

记  $dA$  是半径转过角度  $d\theta$  所扫过椭圆中扇形的面积，则

$$dA = \frac{1}{2} r^2 d\theta$$

(2) 由 Kepler 第二定律，单位时间内行星扫过相同的面积，故

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \omega = \text{常数}$$

$\omega = \frac{d\theta}{dt}$  为行星运动的角速度。

设行星绕太阳运行一周的时间为  $T$ ，经过时间  $T$ ，半径所扫过的面积恰为整个椭圆的面积  $\pi ab$ ，即

$$\pi ab = \int_0^T \frac{dA}{dt} dt = \frac{1}{2} r^2 \omega T$$

则常数为

$$r^2 \omega = \frac{2\pi ab}{T}$$

两边对  $t$  求导得到

$$(r^2 \omega)' = 2r \frac{dr}{dt} \omega + r \frac{d\omega}{dt} = 0$$

这里，行星沿半径方向的速度和加速度分别为  $\frac{dr}{dt}$  和  $\frac{d^2 r}{dt^2}$ ，角加速度为  $\frac{d\omega}{dt}$ ，

则行星在  $x$  方向和  $y$  方向上的加速度分量为

$$\frac{d^2(r \cos \theta)}{dt^2} = \left( \frac{d^2 r}{dt^2} - r \omega^2 \right) \cos \theta$$

$$\frac{d^2(r \sin \theta)}{dt^2} = \left( \frac{d^2 r}{dt^2} - r \omega^2 \right) \sin \theta$$

设  $r$  方向上的单位矢量大小为  $r_0$ ，于是得到加速度的大小为

$$a = \left( \frac{d^2 r}{dt^2} - r \omega^2 \right) r_0$$

(3) 对椭圆方程  $p = r(1 - e \cos \theta)^{-1}$  两边对  $t$  求二阶导数得

$$\frac{\frac{d^2 r}{dt^2} - r \omega^2}{r} \cdot p + r \omega^2 = 0$$

所以

$$\frac{d^2 r}{dt^2} - r \omega^2 = -\frac{(r^2 \omega)^2}{r^2} \cdot \frac{1}{p} = -4\pi^2 \cdot \frac{a^3}{T^2} \cdot \frac{1}{r^2}$$

(4) 由牛顿第二运动定律和 kepler 第三定律， $\frac{a^3}{T^2} = \text{常数}$ ，则有

$$F = ma = m \left( \frac{d^2 r}{dt^2} - r \omega^2 \right) r_0 = -\frac{4\pi^2 a^3}{T^2} \frac{m}{r^2} r_0$$

令  $G = \frac{4\pi^2 a^3}{MT^2}$ ， $M$  是太阳的质量， $G$  称为引力常数，

$G \approx 6.67 \times 10^{-11} (N \cdot m^2 / kg^2)$ 。则

$$F = -G \frac{Mm}{r^2} r_0$$

(5) 德国科学家早在 16 世纪就得出了行星运动三定律，但是由于当时缺乏研究变速运动的工具，直到牛顿发明了微积分，人们才成功地推导出了行星在一个恒星的椭圆轨道上运动的动力学表达式。

牛顿发现万有引力定律的思路大体如下：

① 牛顿证明了行星受到的向心力跟物体与焦点的距离的平方成反比，这一向心力应该是太阳的引力。

② 因为地球上得重力也是随着与地心距离的增大按平方反比例而减弱的，这表明，天体的运动跟地面上物体的运动，有着共同的规律，它们应该本质上应

---

该是同一种力。

③ 牛顿根据他的作用和反作用定律，推论引力作用是相互的。

由此，他指出这种行星或物体受到的向心力，存在于所有具有一定质量的物体之间，于是称之为万有引力，而把该力的数学表达式称为万有引力定律。

2、天王星的运动轨道与应用万有引力定律计算出来的轨道有怎样的偏离？

**参考答案：**

天王星在 1781 年被确认为是太阳系的第 7 颗行星，之前天文学家曾多次在望远镜中见到过它。1820 年，法国天文学家布瓦德搜集当时的全部观测资料，根据天体力学原理计算天王星的运动轨道时，出现了一个奇怪的现象：他用万有引力定律算出的轨道与 1781 年以后的观测极不相符，其轨道观测值比理论值小。

许多年之后，布瓦德等天文学家对 1750 年以后在英国格林尼治天文台观测各个行星所作的全部观测记录，进行了统一地复核。他们发现，除天王星以外，对于别的行星，观测记录与计算结果都能相当准确地符合。因此，他们断定：问题不是出自观测，应该在理论计算方面找原因。

3、根据这一偏差怎样预测新星的位置。

**参考答案：**

较多的天文学家提出“未知行星”假说，认为在太阳系中还有一颗比天王星更远的行星，它的引力作用使天王星的轨道发生了偏离，这逐渐成为了一个公认的科学假说。

两位年轻的天文学家——英国的亚当斯和法国的勒威耶，根据轨道的偏离情况，假设在天王星轨道以外的地方存在这一颗行星，经过反复多次的修正和计算，基本上确定出有关未知行星的各个参数的数值，并指出了可以发现“未知行星”的天区，很快于 1846 年 9 月 23 日在偏离预言位置不到 1 度的地方这颗星被发现，它被称为海王星。

发现海王星的方法在当时是空前新颖的，后来则成为科学家们的常用方法。

## 开放性习题

物理学发展过程中，科学家们许多次通过理想实验研究物理问题，实验超越了当时科学技术和物理学发展水平，建立起了一个又一个新理论。请查阅资料调



---

研力学发展史上的理想实验，分析它与常规物理实验的异同，并分析这种科学研究方法中蕴含的创新思想和创造性发现。

**习题指导与参考答案：**

本题目的在于引导学生了解“理想实验”这种科学思维方式及抽象实验研究方法，通过调研物理学史中的理想实验及其成就，启发学生领会这种研究方法的适用背景、思维过程与创新发现。

(1) 物理学史中著名的理想实验有：伽利略的“理想斜面”、牛顿的“理想抛体”、马赫的“理想水桶”、爱因斯坦列车等，同学们应详细阐述 3 个以上理想实验的实验内容、抽象思维方式、推理过程及实验发现，以及这些理想实验结果的意义及其对物理学发展的推动作用。

(2) 同学们应该分析每一个理想实验借助的真实实验是什么，依托的理论观点是什么，拟解决或拟证实的理论问题是什么。

(3) 基于上述内容的研究与分析，谈一谈自己对理想实验这种科学研究方法的认识，分析这种抽象物理实验与真实物理实验的联系，以及它的运用环境及研究优势。

## 第二章 刚体转动

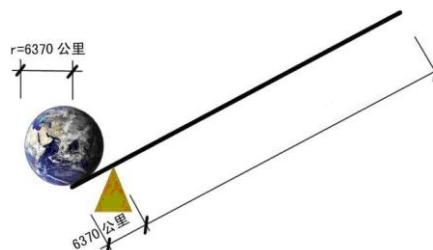
**思考题 2-1** 石磨一般包含上下两个石头磨盘，上面磨盘上装有一横杆作为把手，当人用力推动把手时，上面磨盘就会转动，通过两个磨盘之间的摩擦来研磨食物。请问：人们为什么要装一个横杆而不是直接推动磨盘？人在什么位置推把手才能使磨盘转动得快？人在什么位置推把手更省力？

**参考答案：**直接推动磨盘，因为推动磨盘的力臂太短，会很费力；在磨盘上装一横杆增加了力臂，推动磨盘就会很省力；推把手时，手离磨盘越近，因为线速度不变，半径减小，角速度增大，磨盘转动越迅速；但这时因为力臂太短感觉费力；要想省力，应在把手的末端推把手，因为作用力相同时，这时力矩最大。

**思考题 2-2** 地球的质量为 $5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$ ，假定一个质量为 $100 \text{ kg}$ 的人想用一根长杆借助一个支点撬起地球，支点的位置在哪儿最好？根据支点位置估算撬起地球的杆有多长？

**参考答案：**本题可参考下图，从理论上讲，撬动地球的受力点与支点的距离越小越好，距离越小，人作用力的力矩越大。我们如果取支点位置和地球的受力点的距离恰好是地球的半径，即 6370 公里，则一个质量为

给你一个支点，你能撬动地球吗？



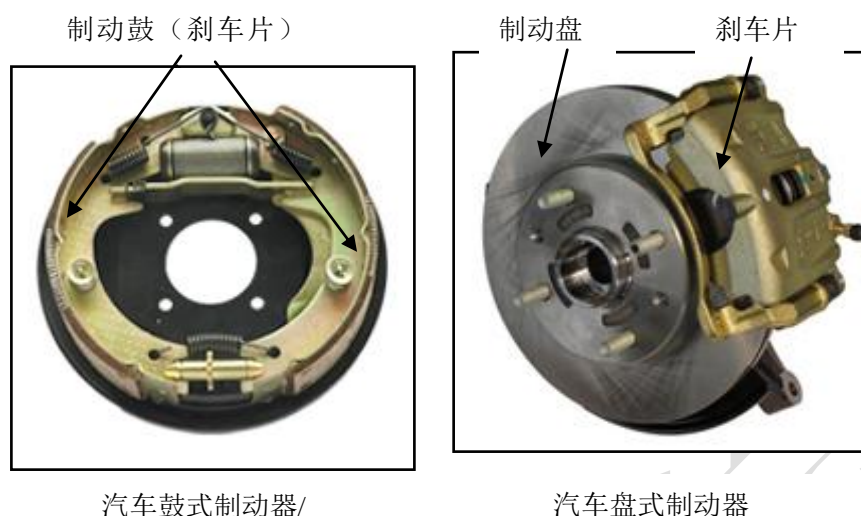
$100 \text{ kg}$  的人要撬动地球需要的杆的长度为  $381 \times 10^{23} \text{ km}$ ，此杆的长度远远大于目前人类探测的宇宙大小（这种撬动实际上是不可能实现的，只是用来说明力矩的作用）。

### 工程问题解析

#### 汽车制动器

汽车制动器是指产生阻碍车辆运动或运动趋势的力（制动力）的部件，其中也包括辅助制动系统中的控制装置。目前，汽车所用的制动器几乎都是摩擦式的，主要分为鼓式和盘式两大类（如图片 2-7 所示）。

鼓式制动器摩擦元件为制动鼓，其工作表面为圆柱面.制动鼓(刹车片)



图片 2-7 汽车制动装置

位于制动轮内侧，在刹车的时候制动鼓向外张开，摩擦制动轮的内侧，达到刹车的目的.盘式制动器的摩擦元件为旋转的制动盘和固定的制动钳，制动盘固定在车轮上随车轮转动，制动钳的两个刹车片分别装在制动钳的内部两侧.在汽车刹车时,制动钳被液压装置推动后,钳住旋转中的制动盘，迫使车轮停下来。

汽车的这两种制动方式虽然不同，但在物理上都是利用摩擦力矩来制动的。

**请分析：**

1. 如果把车轮看作绕车轴转动的刚体，汽车是怎样利用摩擦力矩的？
2. 为什么汽车制动器的刹车片要安装在制动盘或车轮的边缘？
3. 工程师可以采用哪些方法来改进汽车的制动器？

**参考答案：**

1. 在刹车的时候，车轮边缘的制动轮产生摩擦力，进而产生摩擦力矩，使得车轮转动越来越慢。

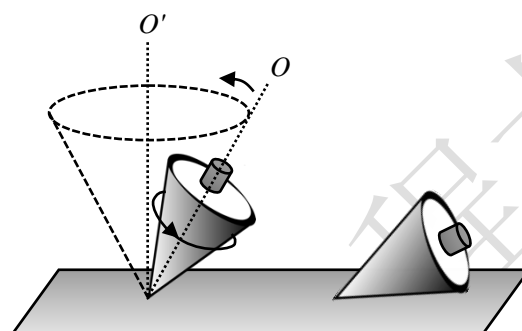
2. 同样大小的摩擦力，在车轮边缘的摩擦力矩最大，可以尽快地使车轮减速，提高摩擦力的利用效率。

3. 鼓式刹车盘和盘式刹车盘都可以发挥摩擦力矩的作用使得车轮减速，但在减速的过程中，要产生大量的热量，一方面会使刹车片的寿命缩小，另一方面发热的刹车片影响制动效果，工程师在改进汽车制动器的时候，一方面可以寻找

更耐热的材料，另一方面在不影响制动效果的前提下改进散热方面的设计。

## 开放性习题

刚体除了绕转动轴的转动以外，还可以绕定点进行转动，陀螺运动就是一种典型的定点转动，如习题图 2-7。请通过调研分析，定性回答下列问题：陀螺的运动与刚体的定轴转动有什么不同？并解释为什么陀螺静止时只会躺在地面上，而当它高速旋转时即使自身发生严重倾斜也不会轻易地倒地。



习题图 2-7

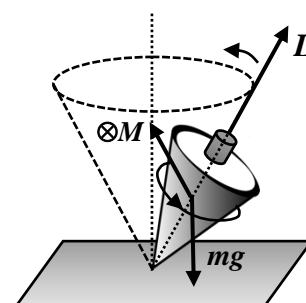
### 习题指导与参考答案：

本题目的在于拓展学生知识面和锻炼学生分析复杂问题的能力。在学习了刚体转动中最特殊的定轴转动之后，了解进动这一实际复杂转动问题，并能定性解释进动等相关现象。

1、刚体的定轴转动是指物体围绕一个固定转轴的转动，该转轴在空间的取向不变。陀螺运动中则同时存在两种转动，一是陀螺绕其中心对称轴  $O$  自转，但该转轴  $O$  的空间取向不断变化，其运动轨迹构成一个圆锥面；二是陀螺又在做定点转动，转动点为陀螺与地面的接触点。陀螺的运动为这两种转动的合成，构成物体自转轴  $O$  绕另一轴  $O'$  转动的复杂转动，这称为进动，如图所示。

2、当陀螺静止不动时，不论它处于怎样的位置，重力矩的作用都会使它倒地，最终躺在地面上。

当陀螺在外力作用下开始高速旋转，若忽略空气阻力，当外力撤去后依然不会轻易倒地。主要因为：



---

(1) 当陀螺处于竖直旋转状态，即轴  $O$  沿竖直方向，陀螺虽然具有自转动量为  $L$ ，但陀螺只受重力矩作用，由于力臂为零，重力矩  $M=0$ ，陀螺在不受外力矩作用下是，将维持其转动状态而不会倒地。

(2) 当高速转动的陀螺发生倾斜时，即轴  $O$  偏离竖直方向，陀螺仍然只受重力矩作用，但是重力矩却不为 0，力矩  $M$  方向如图所示， $M$  垂直于陀螺转轴  $O$  的方向。重力矩  $M$  的作用将不断改变陀螺自转轴  $O$  的空间取向，使其绕竖直轴  $O'$  转动，而不会使陀螺倒地，从而形成陀螺的进动现象。

成都信息工程大学



## 第三章 相对论

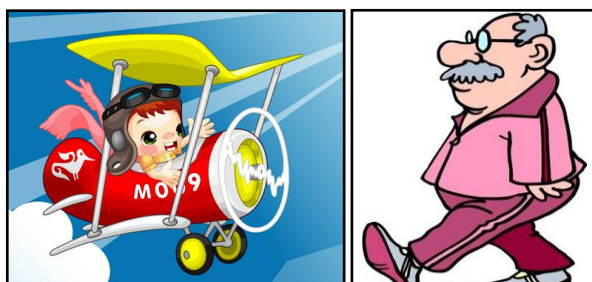
**思考题 3-1:** 在物理学发展的过程中，为了纪念物理学家们的贡献，往往以他们的名字来命名他们提出的理论或获得的结论。但是，为什么狭义相对论中的时空坐标变换不称为爱因斯坦变换，而是洛仑兹变换呢？

**参考答案:** 虽然狭义相对论的根本理论是爱因斯坦全面提出来的，但是在狭义相对论出现之前，经典力学无法解释迈克尔孙实验结果，洛仑兹提出了一套坐标变换公式，可以很好地解释迈克尔孙实验结果，但洛仑兹只是站在经典力学修修补补的角度，没有意识到这个变换公式所蕴含的深刻的物理实质。在爱因斯坦提出狭义相对论之后，发现洛仑兹的坐标变换公式是狭义相对论的自然推论，后人为了纪念洛仑兹，就将狭义相对论的坐标变换公式称为洛仑兹变换。

**思考题 3-2** 按照狭义相对论的结果，一名身高1.8m的胖人以接近光速做水平运动时，地面的观察者看到他的身材和身高将会怎样变化？人们是否可以利用这种变化呢？

**参考答案:** 身高 1.8m 的胖人以接近光速作水平运动时，地面上的人看到他的身高没有变化，但身体将变得非常苗条；现代社会的人类很欣赏苗条的身材，但相对论引起的身体苗条，人们无法利用，因为对于运动的这个人自己来讲，他并没有变得苗条。

**思考题 3-3** 如果将一对双胞胎兄弟中的一个送去做星际旅行，他乘坐的飞船以近光速运行，并在地球时间 60 年后返回地球，如图片 3-6 所示。请问：双胞胎兄弟的年龄是一样吗？会出现一个是老人一个还是孩子的情况吗？为什么？



图示 3-6 双胞胎佯谬

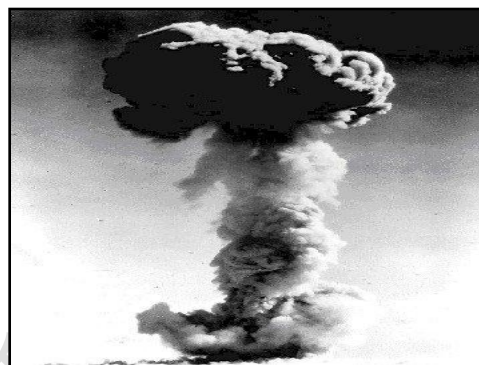
**参考答案:** 双胞胎再次相遇以后，他们的年龄将不一样；会出现一个是老人另一个是孩子的情况；因为根据相对论的结论，高速运动的坐标系中的时钟会变慢，60 年后返回地球的这个兄弟会感觉他经历的时间远远小于 60 年。

## 科学问题的解析

### 核能与核武器

核武器是指利用核裂变或聚变反应释放的巨大能量而产生爆炸作用,并具有大规模杀伤破坏力的武器的总称。例如原子弹、氢弹、中子弹等,如图片 3-12 所示。

美国于 1945 年 8 月 6 日和 9 日先后在日本的广岛和长崎投下了两颗原子弹,显示了原子弹空前的杀伤力和破坏力。现在核武器杀伤力更强,一旦发生战争,全球的各种核武器足以毁灭整个世界,因此这样的“核战争”中没有赢家,只要自我毁灭。



图片 3-12 原子弹爆炸

请分析:

1. 爱因斯坦发现了质能关系,但他绝对没想到核能会被用来做成原子弹.如何客观地看待这一事实?
2. 面对核武器可能给人类的巨大伤害,人们应该做些什么?
3. 为了更好地、合理地利用核能,人类可以开辟哪些新的途径?

参考答案:

1.科学本无所谓“好与坏”、“对与错”,但科学研究的结果却让人们不断地挑战自己的是非观念,人们只有客观、科学地去审视这个世界上发生的一切,知道“什么可为”而“什么不可为”,合理而有效的利用科学为人类造福。

2. 在当今社会,其实核武器最大的作用已经不是作为战争的利器,而是作为一个威慑他国的战略性武器,不能轻易使用。人类最好停止核武器的研制,建立一个和平的世界。

3. 核能的和平利用:核能发电。

### 开放性习题

爱因斯坦于 1905 年创立了狭义相对论,1907 年又提出了广义相对论基本原理,1916 年发表的《广义相对论的基础》一文,标志着广义相对论的诞生。从狭义相对论到广义相对论,人们的时空观将发生怎样的变化? 广义相对论又是怎

---

样使人类对宇宙认识的进了一大步的？从牛顿力学到狭义相对论、再到广义相对论的物理发展史，给了人们怎样的启示？

### 习题指导与参考答案：

本题目的在于引导学生理解物理理论建立与科学观点形成的关联，形成用发展的观点来看待问题的思维方式，同时让学生了解物理学发展对科学发展和社会发展的贡献，领略物理学之美。

爱因斯坦在《广义相对论的基础》一文中，评述了狭义相对论，并表述了广义相对性原理——物理学定律必须对于无论哪种方式运动着的参考系都成立。

(1) 广义相对论从两个方面发展了狭义相对论：一是在狭义相对性原理基础上，将物理定律从“惯性系”推广到“任何参考系”，即提出了广义相对性原理，认为物理定律在任意参照系下都具有相同的形式；二是研究了引力问题，认为引力质量和惯性质量是等价的，并得出引力的本质是时空的弯曲。因此，广义相对论的时空观为：空间和时间会发生弯曲，引力场实际上是一个弯曲的时空。而狭义相对论的时空观为：空间和时间具有相对性，且相互关联，时空是平直的三维时空。

(2) 广义相对论使人们有了弯曲时空的概念，知道一个超大质量的物体可使空间凹陷，从而发现了黑洞。广义相对论还预言了光线偏折、引力红移、引力时间膨胀效应、引力波等的存在，这些都逐一被证实。广义相对论带来的这些新发现让人们对于宇宙的认识前进了一大步。

(3) “光速不变”让经典牛顿力学遇到难题，于是建立了狭义相对论使问题得以解决，使人们把对运动的研究从低速运动扩展到了近光速及光速的范围。狭义相对论中引入了“惯性系”，但这成了该理论的基础缺陷，因为物理学家们无法说明同一物理现象对惯性系和非惯性系为什么会有不同，因此爱因斯坦直接删掉了“惯性系”这一定义，把狭义相对论原理扩大到任何参考系，建立了广义相对论。由此可见，物理学理论的建立是一个不断解决问题、不断自我修正并不断发展的过程，也是一代又一代物理学家敢于直面问题、不墨守成规、勇于推陈出新的过程，更是物理学不断推动人们认识进步、促进人类社会发展的过程。

## 第四章 气体动理论

### 科学问题的解析

#### 礁湖星云的压强

礁湖星云是宇宙中位于人马座的发射星云(图片 4-5)。发射星云是气体星云的一种,它们形状不规则,往往没有明晰的边界,又称弥漫发射星云。在这些星云中间通常有一个或一团高温恒星。来自高温恒星的紫外辐射使星云内的气体激发,产生光致电离而形成星云的发射光谱,所以被称为发射星云。礁湖星云距离地球 5000 光年,直径约为 45 光年。在由 110 个明亮天体组成的梅西叶星表中名列第 8,简称 M8,在星云和星团的新总表中排名 6523,又称 NGC6523。



图片 4-5 礁湖星云

礁湖星云的主要成分是氢气,星云内部的高温恒星,使整个礁湖星云的温度高达 7500K,恒星发出的紫外线使星云内的氢气电离,整个星云发出耀眼的光芒。此外,礁湖星云非常的稀薄,每立方厘米内只有约 80 个分子。

请分析:

1. 根据气体压强的计算方法,礁湖星云中气体的压强是多少?该压强对星云意味着什么?
2. 在科幻影片中常出现飞船通过某个星云的场景,人们看见飞船剧烈颠簸。假设飞船穿过的是礁湖星云,星云气体的气流能引起的飞船颠簸吗?并阐明原因。

参考答案:

1. 根据气体压强的计算

$$P = nkT = \frac{80}{1 \times 10^{-6}} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 7500 \text{ Pa} = 8.28 \times 10^{-12} \text{ Pa}$$

说明星云里的物质密度是很低的，若以地球上的标准来衡量的话，可视为真空。

2. 不会出现。因为压强太低，不足以引起飞船颠簸。

## 开放性习题

请根据自己所在班级最近一次物理考试成绩，计算这次考试成绩的平均值、最概然值和方均根值，并说明这几个成绩所代表的同学们学习状况。

### 习题指导与参考答案：

本题目的在于将热力学基本理论用于解决实际问题，让学生通过对具体事件的分析，加深对三种分子特征速率的理解。

(1) 以某班某次学生实际考试成绩为例做出成绩分布曲线，横坐标为考试分数、纵坐标为不同分数的学生的比例，并分析考试成绩分布曲线中大致分布规律，正常情况下应该成正态分布或接近正态分布。

(2) 根据分子运动三种特种速率的计算方式来计算学生平均成绩、最概然成绩及成绩方均根。平均成绩  $\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^N s_i}{N}$ ，应该代表这个班这次考试体现的学生平均水平。最概然成绩应该成绩分布曲线的极大值，代表人数最多的考试分数。学生成绩方均根  $S_{\text{rms}} = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N s_i^2}{N}}$ ，代表了学生成绩的离散程度，某一学生成绩越接近全班平均成绩，其离散程度越小。根据计算结果，分析一下 3 个不同成绩的关系，是否与气体分子运动三个速率的关系一致，并尝试着解释一下原因。



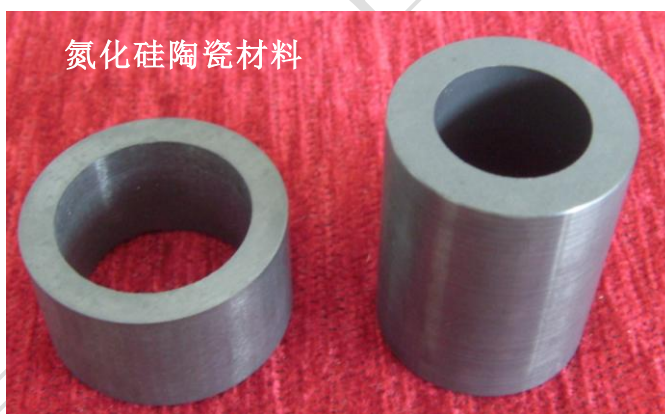
## 第五章 热力学基础

### 工程问题解析

#### 陶瓷内燃机

内燃机是将液体或气体燃料与空气混合后，直接输入汽缸内部的高压燃烧室燃烧后产生动力的装置。内燃机具有体积小、质量小、热效率高、启动性能好的特点。在飞机、机车、船舶、汽车、拖拉机和工程机械等中有着广泛的应用。

对于内燃机而言，高的热机效率，是其关键性的指标。为了提高其效率，有人将陶瓷材料用于制作内燃机的外壳。如图片 5-10 所示。因为陶瓷材料(如氮化硅和碳化硅陶瓷)具有较高的耐高温强度、耐蚀性和耐磨性，可以将工作温度提高



图片 5-10 氮化硅陶瓷材料

到 $1300^{\circ}\text{C}$ ，比目前通用的内燃机的工作温度高出 $300^{\circ}\text{C}$ 左右，使发动机效率提高30%左右。

因此，用陶瓷材料来制造发动机已成为当前世界各国汽车行业重点研发的目标。

**请分析：**

1. 陶瓷材料用于发动机为什么可以提高工作温度？
2. 假设发动机的工作过程是由两个等体过程和两个绝热过程组成的循环，试计算陶瓷内燃机和普通镍基耐热合金制成的内燃机的效率，并对比其结果？

**参考答案：**

1. 陶瓷材料的热传导性比金属材料低，具有良好的绝热性能，使发动机的热量不易散发，从而提高工作温度。

$$2. \text{由 } \eta = 1 - \frac{T_{\text{低}}}{T_{\text{高}}} \text{ (低温热源为 } 27^{\circ}\text{C)} \text{ 可知 } \eta_{\text{陶瓷}} = 1 - \frac{T_{\text{低}}}{T_{\text{高}}} = 1 - \frac{27 + 273}{1300 + 273} = 80.9\%$$

$$\text{和 } \eta_{\text{普通}} = 1 - \frac{T_{\text{低}}}{T_{\text{高}}} = 1 - \frac{27 + 273}{1000 + 273} = 76.4\%。 \text{相比较而言陶瓷发动机的效率高于普通}$$

镍基耐热合金制成的内燃机的效率。

## 开放性习题

雾的本质是水汽凝结物，当空气温度达到或相当接近露点，空气中的水汽就会凝结而形成雾。请利用身边的条件、原料及器材实现人工造雾，并用热力学定律分析造雾过程。

### 习题指导与参考答案：

本题目的在于锻炼学生的动手能力和思考能力，借助“人工造雾”现象来理解热力学过程中较为抽象的能量转换关系。

(1) 参考方案：可以通过构造一个近似的等容过程来实现“人工造雾”。例如：用一个塑料瓶、橡胶瓶塞和打气筒来实现这个等容过程。将塑料瓶用橡胶瓶塞塞住，打气筒从塑料瓶底部打气，不断打气使瓶内部气体压强不断增大，气体将膨胀对外做功冲击瓶塞，直至瓶塞被冲出瞬间，瓶内气体喷出而对外做功，根据热力学第一定律  $Q = \Delta E + W$ ，瓶内空气的内能减小、温度迅速降低，使瓶内和瓶口空气中的水蒸气液化，冷凝成小水珠而形成白色的雾。

(2) 造雾过程的能量转化：气筒打气的机械能转化为瓶内气体内能，瓶内气体内能转化为气体对外界做的功，气体做的功转化为瓶塞及喷出气体的动能。

## 第六章 量子物理

### 工程问题解析

#### 太阳能电池

太阳能是一种清洁的可再生能源，主要利用太阳的辐射能量，是未来人类所需能源的主要来源之一。太阳能电池是通过光电效应或者光化学效应把太阳能转化成电能的装置，如图片 6- 20 所示。太阳能电池发电是一种可再生的环保发电方式，发电过程中不会产生二氧化碳等温室气体，不会对环境造成污染。



图片 6- 20 太阳能电池

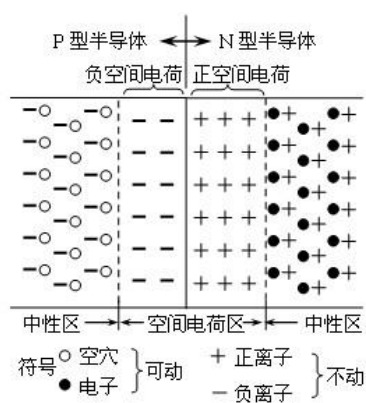


图 6-5 pn 结内部结构图

目前,常用

太阳能电池是以光电效应为工作原理，它的基本结构是半导体的 pn 结，其内部结构如图 6- 5 所示。太阳光照在半导体 pn 结上时，光子激发出中性区的电子，大大增加了电子-空穴对，在 pn 结电场的作用下，空穴由 n 区流向 p 区，电子由 p 区流向 n 区，形成电流。这就是光电效应太阳能电池的工作原理。

请分析：

1. 太阳能电池产生电能的条件。
2. 提高太阳能电池光电转换效率的途径与方法。

参考答案：

1. 当光线照射太阳能电池表面时，电池材料吸收一部分光子；光子的能量传递给原子，使原子外层电子发生跃迁成为自由电子，并在 PN 结两侧集聚形成电势差；当外部接通电路时，在该电压的作用下，将会有电流流过外部电路产生一定的输出功率。因此太阳能电池产生电能的条件是：入射光的频率应不小于 PN

---

结中性区电子跃迁的临界频率。

2. 提高太阳能电池光电转换效率的途径与方法 (1) 提高入射光的频率;  
(2) 研发新材料, 降低电子的逸出功。

## 开放性习题

1. 扫描电子显微镜是通过电子与物质的相互作用, 产生一定的物理信息, 通过对这些信息的接受、放大和成像显示, 来获测试和观察物体的表面形貌。请分析扫描电子显微镜的测量原理, 能否将电子换做光子来实现相同的功能呢?

### 习题指导与参考答案:

本题目的在于让学生了解量子物理基本理论是如何转变成实用技术的, 并能借助已有的物理知识对相关技术进行探索, 锻炼学生的工程思维能力。

① 工作原理: 扫描电子显微镜工作时, 将发射一高能电子束, 入射到待扫描的样品表面。当高能电子打在样品表面后, 将与样品表面发生碰撞作用, 从而产生二次电子、俄歇电子、特征 X 射线和连续谱 X 射线、背散射电子、透射电子等, 同时还在可见、紫外、红外光区域产生电磁辐射。在这些信号中, 二次电子产生的多少与高能电子束入射角有关, 即与样品的表面结构有关, 而二次电子作用深度越浅, 越是粗糙的样品表面信噪比越高, 电子产额也越高, 因此二次电子成为了样品表面形貌成像的主要信号源。

产生的二级电子由探测体收集, 被闪烁器转变为光信号, 再经光电倍增管及放大器转变为电信号, 此电信号又经视频放大器放大后输送至显像管, 在荧光屏上呈现一幅亮暗程度不同的、反映样品表面形貌的二次电子图像。

② 在扫描电子显微镜中, 如果将入射高能电子换成光子束, 我们认为不能实现相同功能。首先, 当光子打到样品表面时, 光电效应能否发生取决于入射光子能量与样品材料的逸出功, 这就从理论上决定了使用光子束进行测量的样品极为有限。即使在特定情况下, 光子与样品表面能发生相互作用逸出光电子, 但能否从光电子携带的信息判断出样品表面形貌, 也是一个不确定的问题。其次, 现有光学显微镜基本是利用光的折射、衍射、干涉等现象来成像, 另有一类光子显微镜, 也是在利用光子激发的荧光来成像, 这些光学显微镜都无法达到电子显微镜的分辨率。

2. 20 世纪量子物理诞生以来，量子领域的诺贝尔物理学奖获得者层出不穷。诺贝尔物理学奖设立，是为奖励原创性科学发现与科学成就，奖励在该领域为人类发展和社会进步做出卓越贡献的人，让科技为人类谋福祉。请调研量子领域诺贝尔物理学奖的颁发情况，了解量子物理发展简史，明确量子物理给人类带来的巨大益处，进而理解科技进步对人类的巨大贡献。

### 习题指导与参考答案：

本题目的在于让学生通过了解量子领域重大发现及其对科技发展与社会进步的巨大贡献，理解科学发展与人类进步的关系，激励同学们要善于观察、善于思考，要敢于创新、勇于创造。

量子物理诞生以来的相关诺奖、重大发现、主要贡献及重要应用如下表所示：

获奖时间	获奖人	重大发现	主要贡献	重要应用
1906 年	J. J. 汤姆逊	发现了电子	电子的发现打破了“原子是物质结构最小单元”的观念，揭示了电的本质；电子是人类发现的第一个基本粒子	该发现使人们对物质世界的认识向前迈出了一大步，汤姆逊被后人誉为“最先打开通向基本粒子物理学大门的科学家”
1918 年	普朗克	提出了量子化与能量子的概念，并成功解释了黑体辐射规律	建立了量子物理，普朗克成为了量子物理创始人	量子物理成为了现代物理学中重要的基础理论，也是众多现代技术及信息技术诞生与发展的源泉
1921 年	爱因斯坦	发现光电效应，提出光量子假说，并成功解释了光电效应及其规律	光量子假说是量子物理早期的又一个量子化规律，大大推动了量子理论的发展	利用光电效应中光电流与入射光强成正比的特性，可以制造光电转换器，实现光信号与电信号之间的相互转换，这些光电转换器如 <b>光电管</b> 等，广泛应用于光功率测量、光信号记录、电影、电视和自动控制等诸多方面。
1922 年	玻尔	提出了氢原子结构模型，成功解释了氢光谱的规律性	这一开创性工作，为揭示元素周期表的奥秘打下了基础，使化学从定性科学变为定量科学，使物理和化学这两个学科建立在同一基础之	玻尔作为量子物理学的最有资格的代表，尼尔斯·玻尔对物理学和人类的整个思维领域做出了多次根本性的重大贡献，留下了难以估价的精神遗产。



			上;同时也极大扩展了量子理论的影响,加速了量子理论发展	
1925 年	弗兰克 与赫兹 共同分享	发现电子与原子碰撞规律,并验证能量转变的量子化特性	弗兰克-赫兹实验不仅证实了玻尔提出的原子存在分立能级的假设,而且直接用来测定两个分立能级之间的能量差,在历史上对量子理论的建立有重要意义。	弗兰克-赫兹实验成为波尔理论中量子化能级的第一个决定性证据
1929 年	德布 罗意	提出了微观粒子波动性的物质波理论	指出电子等微观粒子具有波粒二象性	德布罗意假设提出三年以后,美国的戴维逊和盖革、英国的汤姆逊和乔治等,先后通过电子衍射实验证实了电子具有波动性。
1932 年	海森伯	利用矩阵代数,建立了量子理论中的矩阵力学,提出了“不确定原理”这一量子力学的重要原理	海森伯的理论找出了解释微观物理基本过程的最主要的表达方式,矩阵力学标志着量子力学的正式创立	应用海森伯理论发现了氢的同位素
1933 年	薛定谔 和狄拉克 共同分享	薛定谔建立了量子力学基本方程(薛定谔方程),狄拉克在纯数学物理的基础上建立了相对论性的波动力学方程(狄拉克方程)	薛定谔方程标志着是原子理论中的波动力学的建立,确定出了波函数的变化规律。 狄拉克方程建立了电子有关的理论,预言存在一种新基本粒子(正电子)的存在,几年后在实验上发现了这种粒子。	薛定谔创立波动力学与海森堡创立矩阵力学成为量子力学的“双胞胎”,这些理论成为研究原子、分子等微观粒子的有力工具,奠定了基本粒子相互作用的理论基础。 狄拉克创建的电子相关理论成为研究粒子物理的基础理论。
1945 年	泡利	提出了泡利不相容原理	圆满解决了当时许多有关原子结构的问题,帮助人们正确理解反常塞曼效应、电子壳层级元素周期表等物理问题。	为原子物理发展奠定了重要基础
1954 年	玻恩和 博特共 同分享	玻恩提出了量子力学波函数的统计解释。 博特发明了符合计数法,用	玻恩成为了理论物理学家、量子力学奠基人之一	

		以研究原子核反应和 $\gamma$ 射线		
1964 年	汤斯、普 罗霍罗 夫、巴索 夫共同 分享	汤斯与普罗霍罗夫分别提出了利用原子和分子的受激辐射原理来产生和放大微波的方法，汤斯发明了微波激射器，巴索夫发明了激光器	他们在量子电子学领域的基础性研究成果，导致了基于激微波、激光原理建造的振荡器和放大器。	
1965 年	施温格、 费曼、朝 永振一 郎共同 分享	他们分别独立地提出了量子电动力学重整化和计算方法	施温格成为了量子电动力学的创始人之一	
1985 年	克利青	从金属-氧化物-半导体场效应晶体管中发现了量子霍尔效应	发现的量子霍尔效应是一个普遍规律，是凝体物理研究最重要的进展之一	
2012 年	阿 罗 什 和 维 因 兰 德 共 同分享	他们分别独立发现了测量和操控单个量子系统的突破性实验方法	这种不破坏单个量子粒子的实验方法，开辟了量子物理学实验的新纪元	他们的突破性方法，使量子光学朝着基于量子物理学建造一种新型超快计算机迈出了第一步

## 第七章 静电场

**思考题 7-1** 人们在日常生活中，由于与其他物体的接触往往会带静电，由此在人与人、人与物体之间会产生电势差，电势差的存在又有可能引起瞬间放电。请分析在脱衣服、滑滑梯、汽车加油这些生活场景中存在的电势差，这些电势差有多大？可能造成什么样的危害呢？

**参考答案：**在人脱衣服时，衣服和衣服之间摩擦起电，电荷大量累计，使人和电脑间存在很大的电势差，急剧放电时，会烧毁电脑的主板；孩子在滑滑梯时，摩擦起电，在孩子身上累计大量的电荷，孩子和接应的人之间形成很大的电势差，瞬间放电会烧伤孩子的皮肤；汽车加油如果不熄火，油缸抖动会让油和油缸之间摩擦起电，形成很大的电势差，瞬间放电使汽油燃烧，汽车着火。

**思考题 7-2** 在高压设备中的金属部件使用什么外形更好？为什么？

**参考答案：**根据静电感应，感应电荷分布和曲率半径成反比，使空间电场分布也和曲率半径成反比，因此曲率半径越小的地方电场越大，容易产生尖端放电，所以在高压设备中，金属部件最好使用圆形，这样可以减少尖端放电，避免高压设备的损坏。

### 工程问题解析

#### 太空中的静电放电

如图片 7-15 所示，**静电放电**是指具有不同静电电压的物体互相靠近或直接接触时，引起的电荷转移现象。空气中的静电放电现象，通常在上万伏高压电下才会发生。但是，在太空中充斥着大量电离气体（即等离子体），等离子体具有较好的导电特性，从而大大降低了太空中气体放电的阈值，仅需几百伏特的电势差就能引起静电放电。



图片 7-15 <http://www.360doc.com>

---

太空中飞行的航天器表面都会带有一定电荷,当它与周围环境存在几百伏的电势差时,就有可能在航天器和周围环境之间引起静电放电,这种静电放电最容易发生在航天器表面较为尖锐的位置,以及太阳能电池单元的间隙之间,造成航天器相关部件的损坏,或对电子部件产生严重的干扰脉冲,极有可能威胁航天器在轨运行安全。1982 年 9 月,美国高空充电实验卫星(SCATHA)在表面电势低于 400V 时,监测到了多个静电放电信号,其中一次放电造成了卫星电子仪器偏离了预先设定的时序状态,造成 SC2 失效。因此,航天器必须要尽量避免太空中的静电放电现象,确保航天器的正常运行。

**请分析:**

1. 航天器在轨运行期间,其表面与周围环境之间为什么会存在电势差?
2. 航天器在太空运行时,工程师采取什么措施来监控和调节控制航天器的表面电位?

**参考答案:**

1. 航天器表面的材料暴露在空间等离子体中,一般情况下环境中的电子、离子具有相同的能量,由于电子质量远大于离子质量,单位时间内入射到航天器表面的电子多于质子,造成表面负电荷累积。另一方面,太阳照射在航天器表面激发出的光电子,能减少表面负电荷。当进出航天器表面的多种电荷达到平衡时,航天器表面电势稳定。航天器表面与环境之间或者环境条件不同的表面之间(例如光照明与非光照明),就会产生电势差。

2. 通过研究航天器表面放电事件与空间环境参数的相关性,研究人员可以利用地磁指数及实地测量的电子通量等空间环境参数,对特定位置的在轨航天器的表面电位水平做出实时评估,或提前一段时间进行预报。利用该信息,工程师便可以及时采取措施人为地控制表面电位(如启动航天器电位主动控制仪),这样可以缓解航天器表面带电,降低静电放电概率,确保航天器在轨安全。

## 开放性习题

物理学家库仑发明了扭秤装置来研究静电力,他通过扭秤实验发现两个点电荷之间相互作用力与距离平方成反比,得到了著名的库仑定律。扭称的设计极其巧妙,请通过调研分析扭秤在当时测量水平较低的情况下,是怎样通过物理量转换测量方法来测量看不见的静电力的?是怎样实现对静电力这种微小力的测量

的？

### 习题指导与参考答案：

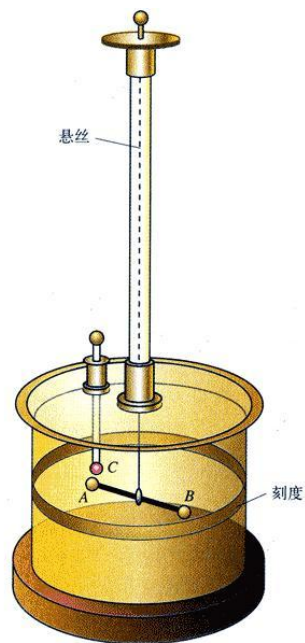
本题目的在于让学生探究“库仑扭秤实验”原理及物理量的测量，领会物理建模及实验构思设计的途径与方法，启发学生在把想法变成现实的过程中，如何去建立正确可行的研究方案，如何基于已有知识与技术搭建研究系统，如何正确地定性观察、定量计算，最终实现目标或有所发现。

#### （1）库仑设计扭秤实验的基本想法

在物理学发展早期，人们对微弱作用的测量感到十分困难，没有任何适合的仪器设备。后来物理学家们想到了悬丝，尽管要把一根丝拉断需要较大的力，但要使一根悬丝发生扭转，仅需一个很小的力就能做到。基于这个想法，加上当时已经建立的力学杠杆原理，英国家科、卡文迪许分别于 1785 年和 1789 年独立地发明了扭秤。卡文迪许用他发明的扭秤，验证了牛顿万有引力定律的正确性，并测出了引力常量。18 世纪中叶，电磁学虽然还在起步阶段，对电磁力仅存种种猜测，但已有不少科学家猜测电场力与万有引力一样，服从平方反比定律。当时，库仑把电场力与万有引力类比，在认定电场力与距离平方成反比的前提下，利用自己发明的扭秤，研究带电小球之间的相互作用关系，最终证明了牛顿力学中的平方反比定律，在电场力中也成立，证明了电场力与电荷电量乘积成正比，建立了反映电荷相互作用规律的库仑定律，第一次打开了电的数学理论大门，使静电学进入了定量研究的新阶段。

#### （2）静电力测量方法及实验设计

库仑的扭秤示意图如图所示，该装置能测量微弱作用关键在于它能把微弱作用效果经过两次转换和放大成为可以测量的物理量。第一次转换与放大：将微小的力通过较长的力臂产生较大力矩，使悬丝产生一定角度的扭转，将力转换为角度；第二次转换与放大：在悬丝上固定一平面镜，把入射光线反射到距离平面镜较远的刻度尺上，从而反射光线的光点在刻度尺上移动，把悬丝微小扭转的角度转换且放大为刻度尺上的移动距离。





---

### (3) 扭秤测量量化表达式

当带电小球受静电力时，悬挂的杠杆将在力矩作用下转动，杠杆转动将使反射光的光点在刻度尺上移动，由此可以反推出杠杆转动角度与杠杆力矩的定量关系，根据力矩公式  $M = F \times L$ ，其中  $M = \theta d^4 / L = K\theta$ （ $d$  为铁丝直径， $L$  杠杆的半长），得出库伦力  $F = M/L = K\theta/L$ ，从而可利用悬丝扭转的角度计算出两点电荷之间的静电力的大小。

成都信息工程大学

## 第八章 稳恒磁场

**思考题 8-1** 地球磁场是指地球周围空间分布的磁场,那么是怎么产生的呢? 请说明其中包含的物理原理。

**参考答案:** 地球磁场属于电磁场,是通过外核的电子随地球自转的电流效应(近似于电生磁)产生的磁场。

**思考题 8-2** 当空间有两条平行的载流直导线时,人们发现,导线之间存在着相互作用,两电流同向时,出现相互吸引的现象,两电流反向时,则出现相互排斥的现象。为什么两电流会出现如此的相互作用呢?

**参考答案:** 这源于磁场对电流的作用。两电流同向时,载流导线产生的磁场对彼此的作用力指向对方,所以出现相互吸引的现象;两电流反向时,载流导线产生的磁场对彼此的作用力背离对方,则出现相互排斥的现象。

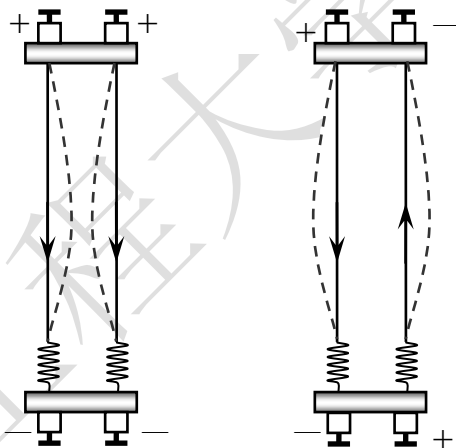
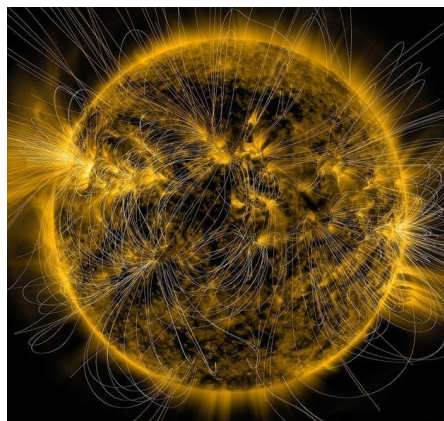


图 8-23 电流之间的相互作用

### 工程问题解析

#### 太阳磁场

太阳磁场是分布于太阳系和星际空间的磁场,分为大尺度结构的太阳普遍磁场和整体磁场,以及小尺度结构太阳活动区附近磁场,如图片 8-10 所示。太阳的绝大部分物质是高温等离子体,其物态、运动和演变均与磁场密切相关,太阳黑子、耀斑、日珥等活动现象,都直接受太阳磁场影响。因此研究太阳磁场具有非常重要的意义。太阳磁



图片 8-10 太阳磁场结构图

---

场可以用太阳磁场望远镜进行观察，该望远镜利用太阳光球和色球两条谱线，对大尺度和小尺度太阳磁场进行测量。

**请分析：**

1. 太阳磁场怎么产生的？
2. 大尺度和小尺度太阳磁场的强度以及它们对地球的影响。
3. 人们可以怎样利用太阳磁场，又怎么避免它带来的负面影响？

**参考答案：**

1. “太阳平均磁流发电机机制”认为太阳的磁场是带电物质的运动使微弱的中子磁场得到放大的结果。既然太阳的物质绝大部分是等离子体，并且经常处于运动状态，那就可以利用发电机效应来说明关于太阳磁场起源中的若干问题。

2. 在大尺度结构上，一方面太阳具有南北两极的偶极磁场叫普遍磁场，南北两极区极性相反。极区的磁场强度一般约为 1 高斯，但两极喷发时约为 1000 高斯；日面宁静区磁结点的磁场强度可达上千高斯。另一方面还具有一个东西对峙的整体磁场。日面上有两个极性相反的磁区，每自转一周（约 27 天），整体磁场变化两次，极性由正变负，又由负变正。

在小尺度结构上，日面活动区黑子的磁场强度约为 1000~3000 高斯；谱斑的磁场强度约为 200 高斯；日珥的磁场强度约为 10~200 高斯，且绝大多数是双极磁场。

3. 太阳释放的磁场似乎来回翻转，造成局部扰动，有时它的磁场甚至有“180 度转弯”，反过来又指向太阳本身。地球绕太阳旋转，地球受到太阳引力的影响。但如果太阳的磁场发生变化，太阳对地球的引力也会发生变化。最明显的会引起地球洋流和地壳的运动，引起地震，火山等灾害，而剧烈时太阳还会发出大量的紫外线，X 射线，粒子流等强射电波……这些会引起地球上的极光、磁暴、电离层扰动和其他现象。

## 开放性习题

1829 年，英国物理学家法拉第发现，将铁屑洒在一块磁铁上，铁屑将呈现出蜘蛛网状，他以图形的形式描绘出了一种看不见的力的分布，他称之为“力场”，第一次提出“场”的概念。力场在之后的一个半世纪里，物理学家们受力场的启

---

发，逐渐探明了力场的本质，并进一步发现了引力场、电力场、磁力场等，这些力场的研究极大地推动了现代科技发展，促进了人类社会的进步。请调研“场论”发展史，叙述自己对场这种特殊物质的理解。

### 习题指导与参考答案：

本题目的在于引导学生去调研“场”的发展历史，了解一个科学概念和理论的建立过程，以及该过程对科学发展的影响，培养学生抽象思维能力及批判性思维，以及透过现象看本质的能力。

#### (1) “场”发展的主要历程

库仑定律揭示了电荷之间的相互作用规律，但是力具有三要素，电荷间作用力的作用点在哪里？这种力是靠什么来进行传递的呢？

物理学发展早期，在牛顿以前就存在一种超距作用的猜想，认为物体之间除了接触作用以外，还存在一种可以超越时间和空间的相互作用；与之相反的一种观点是近距作用，认为所有作用力都需要中间媒介的传递，这个媒介称为“以太”，这两种观点在 18 世纪初竞争激烈。万有引力定律的发现似乎证实了超距作用的存在，尽管牛顿一直反对超距作用，但在 19 世纪大半叶，超距作用还是占据了统治地位，超距作用也被引入了电磁力的研究中。但是法拉第反对超距作用观点并进行批判，它在研究载流导线磁现象过程中，认识到磁力是圆形力，导线周围存在着“张力”，这种张力是通过某种媒介传递的近距作用，初步有了“力线”和“场”的思想，后来他提出了“磁力线”的概念，并用铁屑将它显示出来，再后来他又提出了“电力线”的概念，并在实验上找到证据。这些研究使法拉第坚信，在磁体、带电体、载流导线周围存在着一种连续介质，起着传递电力和磁力的作用，这就是“场”的萌芽及基本思想。到了 1845 年法拉第第一次用了“磁场”这个词，两年后使用了“场”这个词，成为了近距作用观念中的新概念，法拉第用他提出的新概念解释了电磁现象。

#### (2) 场的本质及其重要意义

“场”是一种特殊形式的物质，它是实体物质以外的另一种物质存在的基本形式，是能量传递的一种介质。场广泛存在于我们周围，例如电磁场、引力场。

“场”是物理学中革命性的新概念，它让人们认识了一种全新的物质存在形式。在场的概念确立之后，人们逐渐发现了电场、磁场是有能量、动量、质量和

---

速度的，逐步形成了电磁场理论，而电磁场的研究和电磁波的利用把人类带进了信息时代，而对引力场的研究则为人类遨游太空提供了理论基础。

成都信息工程大学

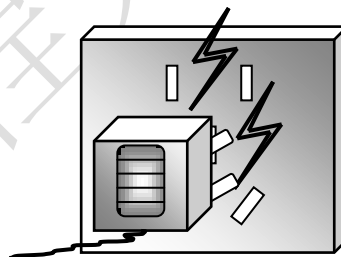
## 第九章 电与磁的联系

**思考题 9-1** 在图 9-4(b)中,若感应电流的方向不满足楞次定律,当导体棒向右运动时,其中的感应电流从上而下,这样会导致怎样的结果呢?请从能量守恒与转化的角度进行分析。

**参考答案:**若感应电流的方向不满足楞次定律,则感应电流所产生的磁场力将使导线作加速运动,只要用一力使导线运动,那么它就会在磁场力的作用下越来越快地运动下去,也就是我们可以用微小的功来获得无穷大的机械能,这就是第一类永动机,显然这违反了能量守恒定律。

**思考题 9-2** 如图片 9-5 所示,在人们拔插头的瞬间,经常看到插头与插座之间会产生火花,请分析火花产生的原因。

**参考答案:**这是由于拔插头之前,电器及导线上有电流,电流在导线周围建立了强大的磁场。当插头拔出时,电流在瞬间由强变为零,电流激发的磁场也发生变化,导线因自感而感应出高电压,这样在插头与插座之间就会产生电火花。



图片 9-5 电火花的产生

### 工程问题解析

#### 射电望远镜

射电望远镜(Radio Telescope)是用来观测和研究来自天体的射电波的基本设备,可以测量天体射电波的强度、频谱及偏振等物理量。早在 20 世纪 60 年代,人们就利用射电望远镜取得了天文学的“四大发现”,即发现了脉冲星、类星体、宇宙微波背景辐射、星际有机分子,揭开了神秘宇宙的面纱,让人们踏上了探测遥远、神秘的“地外文明”之旅。2016 年 9 月,我国第一台射电望远镜——FAST 在贵州建成,如图片 9-18 所示,它被誉为“中



图片 9-18 射电望远镜

国天眼”，FAST 是目前世界最大的单口径（500 米）射电望远镜，与号称“地面最大的机器”的德国波恩 100 米口径望远镜相比，它的灵敏度提高约 10 倍；与世界上第二大单口径射电望远镜——美国阿雷西博（Arecibo）305 米口径望远镜相比，其综合性能提高约 10 倍。它使中国的天文观测能力延伸到宇宙边缘，可以观测暗物质和暗能量，寻找第一代天体。

射电望远镜通常包括天线和接收系统。射电望远镜的天线主要用于接收电磁波。接受系统的功能在于利用电磁感应现象，将电磁波转化为可接收的电压信号，并进行放大、滤波、混频等处理，再将模拟信号转换为数字信号保存于计算机中。

**请分析：**

1. 射电望远镜与光学望远镜相比具有怎样的特点与优势？并说明原因；
2. 射电望远镜在宇宙探索方面具有较为强大的功能，那么决定其功能的最关键因素是其中蕴含的物理原理还是实现它的技术，具体是哪些关键因素，它们起的作用是什么？

**参考答案：**

1. 射电望远镜与光学望远镜不同，它既没有高高竖起的望远镜镜筒，也没有物镜，目镜，它由天线和接收系统两大部分组成；天体发出的电波，天文学家称之为“射电”，接收与解读这种射电必须要用射电望远镜。射电望远镜与光学望远镜不同的是，它所见到的不是天体的图像，而是一组组大大小小、曲曲折折的曲线，需要用专门的仪器才能解读其中所含的信息；当然，它也有致命的缺陷，那就是它“眼大无光”，由于无线电波的波长要远远大于可见光的波长，因此射电望远镜的分辨本领远远低于相同口径的光学望远镜，而射电望远镜的天线又不能无限扩大。

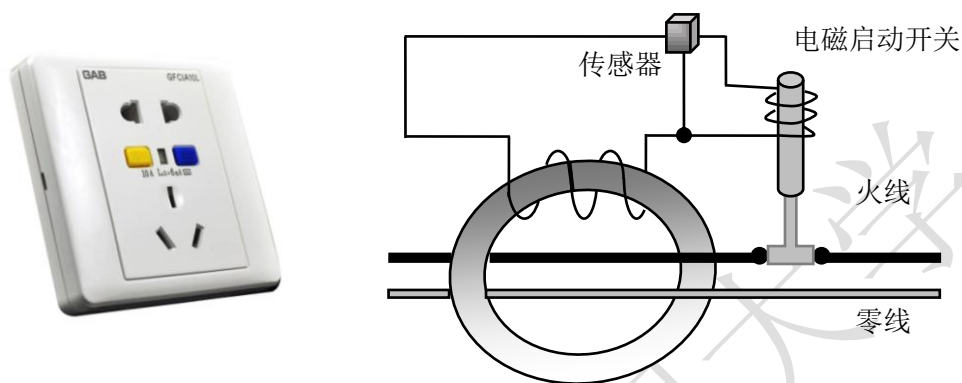
2. 根据衍射原理，口径越大分辨率越高，决定射电望远镜望远镜功能的首要因素是口径的大小。

## 开放性习题

通常情况下，一个人在不小心接触电时，很可能被电击导致伤亡。为防止发生，加利福尼亚大学教授戴采尔一种发明了触电保护器，将它与插座集成在一起后，可有效防止触电事故的发生。习题图 8-9 所示为触电保护器的结构示意图，



主要由铁芯、线圈、传感器和电磁启动开关组成，开关在传感器的控制下可切断火线。请问：（1）当人触摸到火线时，触电保护器是如何工作的？（2）此类触电保护器除了可安装在插座上使用外，还可以安装在哪些电子设备上，起到触电保护的作用。



### 习题指导与参考答案：

本题目的在于引导学生去观察生活中的物理，通过了解这种触电保护器，明确知识与技术应用的利弊，明确工程产品的出现是需求导向，产品市场则受诸多因素，培养学生工程思维。

#### （1）触电保护器的出现

自人们发明并使用电以来，给人类带来了极大的便利，但是电的使用也给人们带来了许多灾害，因触电引发的人身安全及火灾等问题，引起了电力行业的高度重视。为避免这些事故发生，人们急需一种设备来保证人们安全用电，于是迎来了触电保护器的研发商机。

1930 年欧洲人最早发明了电压动作型漏电保护器，用来防止电气设备因绝缘损坏而发生的触电事故；1960 年，西德出现了电流动作型漏电保护器，用于漏电与触电保护；20 世纪 60 年代，随着电视、冰箱、空调等的出现，市场上出现了电磁式触电保护器和集成电路的触电保护器，这是目前广泛使用的触电保护器。

#### （2）具体工作原理

漏电保护器通常与电器设备串联在一起，以实现其保护功能。如图所示为电磁式触电保护器，由传感器和电磁启动开关组成，电磁启动开关与火线线路串联，传感器铁芯套在火线和零线上，传感器导线缠绕在电磁启动开关的铁芯上。

---

各类电器设备在正常情况下，电路的火线与零线电流大小相等、方向相反，变压器线圈中的净电流为零。但是，当有人触摸到火线或零线后，电流将从接触点通过人体流入大地，此时电路零线与火线电流不等，变压器线圈中有了净电流，进而线圈周围产生磁场，传感器中产生感应电流，感应电流产生的磁场将铁芯吸引上去，从而导致电磁启动开关跳起切断电路，整个过程仅需 0.025s，确保触摸了电线的人的安全。

### **(3) 保护器的应用范围**

目前触电保护应用十分广泛，几乎所有人能接触到的用电场所均需安装触电保护器，对于工厂、办公楼、实验室、游泳池、工地等防触电、防火要求较高的场所，电气设备的保护器属于强制性安装。

插座上所用的保护器额定漏电流小，一般为 10A 或 16A，当漏电电流达到 10 毫安时，保护器在 0.1 秒之内将切断电源，保护器价格一般几十元。配电箱上使用的保护器具有防漏电、触电、短路和断路等多种功能，额定电流虽为几十安培，有多种不同规格，因此这类保护器价格一般在几百元到一千多元不等，接线柱越多、额定电流越大价格越贵。

## 第十章 机械波

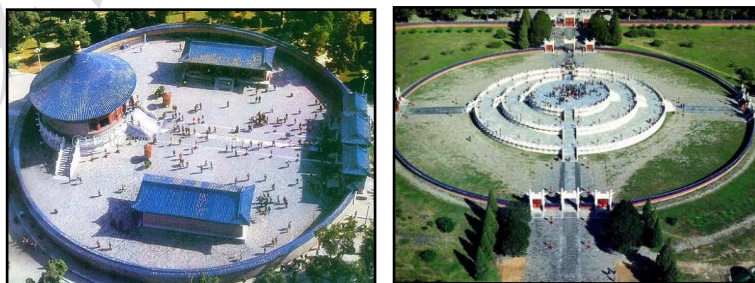
**思考题 10-1** 声波能产生驻波现象，有研究者利用声波驻波实现了对微小颗粒的悬浮，如二维码 10-4 链接视频所示。请仔细观察视频中的现象，解释颗粒被悬浮且位置固定的原因。

**参考答案：**驻波悬浮是利用超声换能器辐射面和反射面中间形成的高强驻波声场来实现小颗粒物体的悬浮的，被悬浮颗粒悬浮在驻波声压节点处。

**思考题 10-2** 蝙蝠是怎样利用超声波来感知猎物的距离、方位和速度的？蚊、蝇、蛾等昆虫用什么方法来逃避蝙蝠的捕捉呢？

**参考答案：**蝙蝠是利用自己发出的超声波与猎物相遇反射后，反射波和它自己发出的入射波之间的频率差异来判断猎物的距离、方位和速度的，即多普勒效应；同理昆虫也是利用多普勒效应来躲避蝙蝠的追捕的。

**思考题 10-3：** 天坛“声学三奇” 图片 10-19 为北京天坛公园中的回音壁和圜丘。 “回音壁”为一道厚约0.9m的围墙，当人站在它的一端对着墙说话时，另一端的人用耳贴墙面就能听得非常清楚；“三音石”是位于回音壁中央地面的一个石板，当人站在此处击掌时，自己可以至少能听到三次回声；圜丘是由大理石和青石砌成的半径为11.5m的圆形平台，当人站在圜丘中心叫喊时，他听到的声音被放大了，而且仿佛是从地下发声的。研究考证，天坛“声学三奇”之所以有如此奇特的现象，是因为古代的工匠巧妙地选择了建筑石材，并通过精心的布局利用声波的反射原理。请分析“声学三奇”是如何产生的？



图片 10-19 天坛“声学三奇”

**参考答案：**回音壁有回音效果的原因是：围墙由磨砖对缝砌成，光滑平整，弧度柔和，有利于声波的规则反射形成回音；同时围墙上端覆盖着琉璃瓦使声波不会因为散射而消失，加强了回音壁的回音效果。

三音石恰好位于回音壁的中央，击掌声传到回音壁上等距的，被回音壁反射后，会聚在中央（即三音石处），这就听到了第一次回声；第一次回声又会等距地传到回音壁上，再次被反射回来，就可以听到第二次回声；同样，第三次第四次回声也可听到；直到声能在传播和反射过程中被回音壁和空气完全吸收为止。

人站在圜丘中心叫喊时，因为青石、大理石的反射性能良好，声音反射时损失的能量不；同时圆形平台实际上并不平，而是从圆心向四周稍微倾斜，平台中心发出的声波被青石栏杆反射到稍有倾斜的台面，由于台面中心高，当被青石栏杆反射的声波到达台面并再次被台面反射时，其反射声波的方向就比平的台面稍高，直接传至人的上部；由于人听到反射声音的时间和发出声音时间相差很短，反射声就与自己发出的声音几乎重合，从而加强了自己发出的声音，因此听到的声音被放大了。由于人听到的反射声直接来自地上的台面，所以人听到的声音仿佛是从地下发声的。

## 工程问题解析

### 声呐技术

声呐是利用声波对水下物体进行探测和定位识别的方法及所用设备的总称。声呐是各国进行水下监视的主要技术，可对目标进行探测、分类、定位和跟踪等，还能实现水下通信和导航，从而保障舰艇、反潜飞机和反潜直升机的战术机动和水中武器的使用。如图片 10-20 所示。



图片 10-20 潜艇

**请分析：**

1. 声呐是如何利用声波来进行工作的？
2. 根据声呐的工作原理，从物理的角度分析声呐系统应该具有哪些主体结构？
3. 潜水艇如何利用声呐技术对海底的暗礁进行探测和定位的？

**参考答案：**

1. 声呐是利用的声波的多普勒效应来进行工作的,是利用水中声波对水下目标

进行探测、定位和通信的电子设备，是水声学中应用最广泛、最重要的一种装置。

2. 声呐系统主要包括两部分：干端和湿端。顾名思义，干端既水上部分，湿端既水下部分。其中湿端主要是水声换能器或换能器基阵组成；而干端由信号源，发射设备，时空处理部分，判别显示部分构成。

3. 潜水艇是利用自己发出的超声波与暗礁相遇反射后，反射波和它自己发出的入射波之间的差距来判断暗礁的距离、方位和速度的，即多普勒效应。

## 开放性习题

1、实际应用的很多仪器都是利用机械振动原理设计的，例如钟摆就近似做周期性简谐振动。请调查一种与机械振动有关仪器，并利用机械振动的知识解释其工作原理。

### 习题指导与参考答案：

本题的目的在于让学生了解基本物理知识是怎样在生活、工业或生产领域应用的，通过对仪器工作原理的分析，培养学生对知识的综合运用能力。

(1) 建议学生选择一种仪器，绘出仪器中机械部件的结构示意图，描述其振动形式、规律及特征。

(2) 让学生用振动知识分析其工作原理，以及振动与该仪器主要功能的关系，并研究关键性振动物理量与仪器主要功能参数之间的定量关系。

(3) 最后建议让学生讨论仪器中的振动与物理中简谐振动的异同，充分从理论知识与实际应用差距的分析，建立学生的工程思维。

2、许多自然现象都与机械波有关，例如声音可以绕过障碍物是因为声波的衍射现象。请调查一种与机械波有关的自然现象，利用机械波原理对其进行解释。

### 习题指导与参考答案：

本题的目的在于帮助同学深入理解波的本质以及振动与波的联系和区别。通过对波动现象观察及原理研讨，锻炼学生从自然现象中探究其科学本质的思维方法，进而了解人们该如何利用物理现象及物理规律为人类服务。

(1) 建议学生调研一种波动相关的自然现象，对蕴含的机械波的特征及传

---

播特性进行分析，并讨论其传播过程中可能发生的变化及影响，建立起该自然现象的物理模型。

（2）根据该自然现象的物理本质，分析该现象可能存在的应用或者已经存在的应用，讨论该现象发生或利用时需要注意的关键性问题。

（3）现象举例：地震是地壳快速释放能量过程中产生地震波的现象，发生时地震波中的纵波与横波将分别使物体上下振动和左右晃动，横波对地面建筑的破坏性更大。由于地震纵波传播速度比地震横波速度快，即同一地点两种地震波到达时间有先后，而且距离震中越远，横纵波到达的时间差越大。利用这一现象，人们已建立起地震监测网，根据不同站点的地震信号，测定震中位置，并向周边城市发出地震预警。当地震发生时，距震中最近的监测网点最先检测到地震纵波，将立即向周边地区发出预警，我国能在地震发生后 2 秒内发出预警。

---

## 第十一章 光波

**思考题 11-1** (1) 若用白光作为入射光, 在双缝干涉屏上将观察到怎样的干涉图样? 特征是什么? (2) 如果装置结构( $d', d$ )和波长 $\lambda$ 发生变化, 条纹将如何变化?

**参考答案:** (1) 白光入射将会看到除中央明纹是白光外, 其它干涉条纹都是彩色的。各个波长形成的条纹仍为明暗相间的直条纹, 但由于不同波长的衍射角不同, 从而形成彩色的光谱带。(2) 双缝之间的距离 $d$ 变大则条纹间距减小, 反之则增大; 双缝到屏幕的距离 $d'$ 增大则条纹间距增大, 反之则减小; 波长 $\lambda$ 增大则条纹间距增大, 反之则减小。

**思考题 11-2 白光薄膜干涉** 研究发现, 昆虫翅膀与孔雀羽毛之所以呈现出五彩斑斓的颜色, 昆虫翅膀与孔雀羽毛在自然状态下形成了一层厚度不均的薄膜。(1) 请用薄膜干涉的原理, 解释昆虫翅膀与孔雀羽毛在阳光下呈现出各种色彩的原因。(2) 为什么在昆虫翅膀与孔雀羽毛上, 观察到的各种颜色的分布不均匀?

**参考答案:** 阳光在昆虫翅膀或孔雀羽毛上下两个表面发生反射, 当某波长的反射光满足干涉相消条件时则在反射光中无法观察到该颜色的光, 因此呈现出彩色。

(2) 由于昆虫翅膀或孔雀羽毛不同部位的厚度不同, 满足干涉相消条件的波长也不一样, 因此各种颜色的分布不均匀。

**思考题 11-3** (1) 当白光入射单缝上时, 会形成怎样的衍射图样? (2) 如何使衍射只能看到中央明纹?

**参考答案:** (1) 白光入射单缝将形成彩色的衍射条纹, 且波长较大的光波衍射条纹间距较大, 出现在每个级次离中央明纹较远的地方, 波长较小的光波衍射条纹间距较小, 出现在每个级次离中央明纹较近的地方。(2) 要只看到中央明纹意味着第一级衍射极小对应的衍射角为 $90^\circ$ 。根据式 11-14 可知当狭缝宽度等于波长时第一级极小的衍射角即为 $90^\circ$ 。



# 工程问题解析

## 全息技术

当人们照相时，普通底片通过入射光的强度来记录物体信息，而光波除了强度之外还有相位信息。相位信息与物体三维空间信息密切联系。普通照相丢失了相位信息，只能得到平面图像。那么,有没有方法可以同时记录光的强度和相位,从而获得立体图像呢？全息技术可以达到如此的效果。

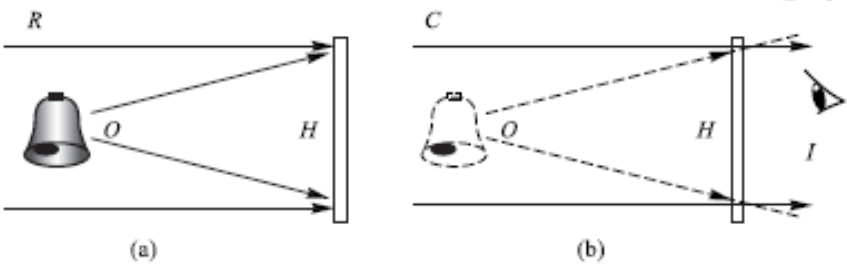


图 11-20 全息成像光路的示意图

全息技术利用光的干涉现象形成的干涉图样来成像，其成像方式如下：

（1）如图 11-20（a）所示，人为地用一束参考光  $R$  与物体的反射光（称为物光  $O$ ）进行干涉，产生干涉图样。干涉条纹的分布与物光  $O$  的强度和相位都相关，其中包含了光的强度和相位信息，通过干涉图样来记录光的全部信息的方法称为全息技术。

（2）若将光屏置于图 11-20（a）中的  $H$  处，屏上可得到一幅干涉图样，这个记录了干涉图样的光屏被称为全息干版，即为全息成像的相片。

（3）全息图像无法像普通照片一样直接观看，如图 11-20（b）所示，必须再以照明光  $C$  照射在全息干版上产生衍射现象，衍射光再现物光的强度和相位。人们在全息干版后面的区域  $I$ ，就能看到和原始物体一样的三维立体图像。

请分析：

1. 在全息技术中,全息干版上条纹间距不能太小，否则记录信息的准确度将受到影响。请问可以采用什么方法来控制干涉条纹的间距，以保证记录信息的准确度？

2. 若记录了干涉条纹的全息干板破损后,只剩下原来的三分之一，它是否可以完整再现原有图像，为什么？

### 参考答案:

1. 双缝干涉中产生的干涉条纹间距正比于光波波长和狭缝到屏幕的距离,而反比于双缝的间距.为了增加干涉条纹间距以便能被有效记录,因此可以采用增加光源到记录介质的距离,采用长波长或者减小两光束之间夹角。

2. 即使干板破损只剩下原来的三分之一也可以完整再现原有信息。光栅干涉中若将光栅的一部分遮住,形成的干涉条纹分布并不变,这是因为干涉条纹的分布是光栅的结构决定的,而与光栅的大小无关。记录有条纹的干板是一个复杂的光栅,即使缺失了一部分其条纹结构仍然是不变的,因此仍可以完整再现原有信息。

## 开放性习题

1、人们根据颜色的形成原理,将不同颜色分为色素色和结构色两种。色素色是通过物质对光的吸收(或反射)来形成颜色的,比如颜料、油漆等,这是一种最常见的颜色。请说明结构色形成的原因,并对比色素色与结构色在感官上有什么不同。

### 习题指导与参考答案:

本题目的在于拓展学生关于颜色的常识,了解自然界一大类颜色形成的机理,通过结构色在生活中的应用,明白理论发现及研究将促进人类科学技术的发展,为社会服务并造福人类。

(1) 结构色是指物体表面特殊的微小结构对光波自然光进行反射,其中只有满足干涉相长条件的光才会被反射回来,反射光的颜色即是物体表面的颜色。建议学生调研几种自然存在的结构色案例,分析结构色形成原理及条件,并解释其调研的结构色形成的原因。

(2) 结构色与颜料色的最大不同在于形成的物理机理,结构色的存在是因为可见光的干涉现象,颜料色的存在是因为颜料对可见光的吸收现象。其次,结构色比颜料色更鲜艳、明亮,保持时间更长。

(3) 建议学生基于上述颜色形成的不同机理及特色,给出两大类颜色在生活、工业中的典型应用。例如纳米乳胶漆,利用不同尺度的纳米尺寸微粒对光的作用产生不同颜色,不仅颜色鲜艳、经久耐用,而且更具环保、低碳的优势。

---

2、X 射线在医学上的一个重要应用是成像。X 射线成像过程中，射线照射在患者身上，大多数射线被骨骼阻挡不能透射出去，仅有身体肌肉或组织部分射线可以穿过，在胶片上成像或被探测器接收，患者骨头所在处将在胶片上形成阴影图像。请问：在 X 射线成像过程中，涉及哪些物理效应？请从 X 射线特性出发，探讨 X 射线成像技术的特点，以及如何减少检测时对人体伤害？

### 习题指导与参考答案：

本题目的在于通过 X 射线在医学成像方面的应用，让学生们了解物理知识转变为实际技术的过程，理解物理知识及物理效应对实际技术的限制，让学生在技术研发及实际应用过程中养成全面思考的习惯。

#### (1) X 射线成像原理及相关物理效应

X 射线影像能形成的原理是：X 射线波长一般在 0.001~10 纳米，医学上应用的 X 射线波长约在 0.001~0.1 纳米，射线的波长极短、能量极大、穿透力极强，其光子能量比可见光光子能量大几万至几十万倍。X 射线穿透力与物质密度有关，密度大的物质对射线吸收多、透过少，密度小则吸收少、透过多，利用这种差别吸收的性质，就可以把密度不同的骨骼与肌肉、脂肪等软组织区分开来，这就是 X 射线透视的物理基础。X 射线在透过人体过程中，被人体不同组织结构吸收的量不同，导致透射过的 X 射线量有差别，透射 X 射线经过一个显像过程，例如经过 X 线片、荧屏或电视屏显示，便可获得具有黑白对比、层次差异的 X 射线图像。

在 X 射线成像涉及的主要物理效应有：① 穿透性，能穿透可见光不能穿透的物体，这是 X 射线成像的基础。② 荧光效应，X 射线能激发荧光物质并转换成肉眼可见的荧光，这是 X 射线透视的基础。③ 感光效应，X 射线能使涂有溴化银的胶片感光并形成潜影，经显、定影处理后形成灰阶度不同的 X 射线照片，这是 X 射线摄影的基础。④ 电离效应，X 射线通过任何物质都可产生电离作用，为放射剂量学和数字化探测器成像的基础。⑤ 生物效应，X 射线进入人体可使机体与细胞结构发生生理和生物学改变，其损害程度与 X 射线的量成正比，这是放射防护学和放射治疗学的基础。

#### (2) X 射线成像技术的特点及其对应用的限制

X 射线成像时，由于射线具有强穿透性，照射时投照量小，在穿过人体时

---

不损伤人体，且具有无污染、快捷等优点，导致 X 光检查费用低廉，成为了一种较为安全的医学常规检查。但是，X 射线也有辐射，这对人体存在一定危害，因此 X 光机需要放在有特殊防护的室内工作，要合理选择 X 光波长，X 光照射时间极短，且不适合孕妇及其他特殊人群的使用。

目前的 X 光成像技术是模拟成像技术，图像信息为模拟量，对人体组织显像不够清晰，对一些细微结构无法辨认，影响了医学判断的效率及准确性。此外，这种 X 光影像一旦产生，图像质量就是确定的，不能再进一步进行调整与改善，使影像不便于储存、管理和传输，这也限制了它的发展。

### （3）X 射线成像技术的改进

X 线摄影经历了从最早的摄影干板到胶片/增感屏组合，到目前数字化 X 射线图像各阶段的进步。目前数字化 X 光图像不仅可以对图像进行处理改善图像质量，还能将各种诊断技术所获得的图像同时显示，进行互参互补，增加诊断信息。此外，数字化 X 光图像可利用大容量的磁、光盘存贮技术，使临床医学可以更为高效、低耗及省时省地、省力地观察、存贮和回溯，甚至可将 X 光图像远距离传送，进行遥诊或会诊，提升其医学应用效果。但是，数字化 X 光成像还在研究阶段，还没有数字化的常规 X 光机。

## 第十二章 电磁波

### 科学问题解析

#### 宇宙起源探秘

宇宙从何而来、往何处去？这对人们一直是个迷。1927 年比利时物理学家乔治·勒梅特基于爱因斯坦的广义相对论，首先提出了关于宇宙起源的大爆炸理论。如图片 12-5 所示，该理论认为宇宙是由一个极度致密、极度炽热的奇点开始膨胀到现在的状态。

1964 年美国科学家阿诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊，在用高灵敏度的号角式接受天线系统测量银晕气体射电强度时，意外地发现了一种温度仅为 3K 的微波背景辐射，这种宇宙微波背景辐射的产生，被科学家解释为宇宙大爆炸时发出的宇宙射线，由于宇宙在不断膨胀，星系间都以一定速度在远离，根据多普勒效应可知，这将导致人们观察到的宇宙射线的频率降低，甚至降至微波的范围，这称为电磁波谱线的“红移”。因此，宇宙微波背景辐射的发现成为了支持大爆炸理论的重要证据，1978 年，阿诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊获得了诺贝尔物理学奖。

请分析：

1. 什么是电磁波的多普勒效应？什么称为电磁波的“红移”和“蓝移”？
2. 根据宇宙射线和宇宙微波背景的频率，估算一下宇宙膨胀的速度。
3. 现在已有更多证据表明宇宙在膨胀，这对宇宙未来意味着什么？宇宙会有终结点吗？

参考答案：

1. 光源发出频率为  $\nu_s$  的电磁波，当光源和观察者在一直线上以速度  $v$  相对运动时，观察者所接收到的频率  $\nu_r = \sqrt{\frac{1 \pm \frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}}} \nu_s$ 。当光源远离观察者运动时，接收到的频率变小；反之，频率变大，这就是电磁波的多普勒效应。

根据电磁波的多普勒效应，当恒星远离我们而去时，我们接收到的来自恒星

的光的频率变小,光的谱线就向红光方向移动,称为红移;如果恒星向着我们运动,光的谱线就向紫光方向移动,称为蓝移.

## 2. 根据电磁波红移现象测量宇宙膨胀的速度:

以某一星系作为参考物体,该星系的速度

$$v = cZ \quad (c \text{ 为光速, } Z \text{ 为该星系的红移})$$

根据多普勒效应可推出红移

$$Z = \frac{\lambda}{\lambda_0} - 1$$

其中  $\lambda$  为该星系的某一原子的谱线波长,  $\lambda_0$  为实验室中测出的对应原子的谱线波长,根据  $v = c(\frac{\lambda}{\lambda_0} - 1)$  估算出星系的速度  $v$ .

根据哈勃定律

$$v = Hd \quad (v \text{ 为星系的速度, } H \text{ 为哈勃系数, } d \text{ 为地球与星系的距离})$$

$$\text{宇宙的年龄: } T = \frac{1}{H} = \frac{v}{d} = \frac{c}{d} \left( \frac{\lambda}{\lambda_0} - 1 \right)$$

$$\text{由此可以估算宇宙膨胀的速度} = \frac{\text{星系与宇宙中心的距离(待测)}}{\text{宇宙的年龄}}$$

3. 现在已有更多证据表明宇宙的确在膨胀,这对宇宙未来意味着宇宙很可能永远膨胀下去。霍金预言宇宙的两种结局:(1)会永远的膨胀下去。(2)或者会塌缩而在大挤压处终结。

## 开放性习题

1、麦克斯韦方程组的提出,从理论上预言了电磁波的存在,22年后德国物理学家赫兹从实验上发现了电磁波的存在。请收集资料,整理出电磁波的发现历史,制作一个小故事并进行分享。

### 习题指导与参考答案:

本题目的在于让学生通过对电磁波发现历史调研,了解一项科学发现的完整历程及其蕴含创新过程,包括方法创新、创新思想以及创新的艰苦与执着,启发并培养学生的科学精神及科学品质。

---

**(1) 法拉第思想。**英国科学家法拉第从 1831 年开始研究电磁现象，并通过一连串实验发现了电磁感应现象，并建立起这一现象的数学模型，即法拉第电磁感应定律，他的发现确立了“变化磁场会产生电场”的观念。随后法拉第又使用静电、磁力、电场、力线等概念来解释电磁现象，但他的想法被同僚排斥，终究没能活着看到这些想法被世人所接受。

**(2) 麦克斯韦理论。**法拉第的物理思想强烈地吸引了同在英国的一位年轻人——麦克斯韦，他认为法拉第电磁场理论比当时流行的超距作用电动力学更为合理，于是就抱定决心要用严格的数学语言来描述法拉第理论想探究的电磁学领域。麦克斯韦从 1855 年开始研究电磁学，潜心研究使他坚信法拉第新理论包含着真理，接着他就在前人成就基础上，对整个电磁现象作了系统、全面的研究，并凭借他高深的数学造诣和丰富的想象力，连续发表了《论法拉第的力线》、《论物理的力线》及《电磁场的动力学理论》三篇电磁场理论的论文，将电磁场理论用简洁、对称、完美的数学形式表示出来，成为经典电动力学主要基础——麦克斯韦方程组。

**(3) 电磁波预言。**麦克斯韦根据自己的理论进行推演，发现如果在空间某区域中有周期性变化的电场，就在它周围空间产生周期性变化的磁场，这个变化的磁场又在它周围空间产生新的周期性变化的电场，因此变化电场和变化磁场是相互联系的，形成一个不可分离的统一体，他称为电磁场。变化的电场和变化的磁场交替产生，由近及远地传播，这种电磁场在空间以一定的速度传播的过程叫做电磁波，由此预言了电磁波的存在。1865 年，麦克斯韦从理论上计算出电磁波的传播速度等于光速，灵感促使他得出一个重要结论：光是电磁波的一种形式，这揭示了光现象和电磁现象之间的联系。

**(4) 赫兹实验。**这一著名预言深深打动了德国物理学家赫兹的心，他开始研究麦克斯韦电磁理论，决心以实验来证实麦克斯韦理论正确性。1888 年，赫兹终于实验成功，验证了电磁波的存在，通过实验计算发现电磁波速度与光速相同，赫兹将这些成果总结为论文《论动电效应的传播速度》，从而全面验证了麦克斯韦的电磁理论的正确性。

**(5) 科学新纪元。**1888 年，成为了近代科学史上的一座里程碑。赫兹的发现具有划时代的意义，它不仅证实了麦克斯韦发现的真理，更重要的是开创了无



---

线电电子技术的新纪元，无线电波也因此被命名为赫兹波。

成都信息工程大学